

パキスタン・バルトロ氷河トレッキング時の SpO₂ 値の変化と登山熟練者の呼吸リズム

井 上 摩 紀

近年ブームである海外トレッキングの目的地は、日本国内で体験できない標高であり、かつ、高度順化の技術や事前トレーニングが無くとも何とか登れる「中山」（おおよそ標高 3000～6000 m）が中心である。しかし、実際にはこの中山での高山病で致命傷を受けることが多いといわれる。標高 4000 m、空気中の酸素が約 12%（地上の約 60%）になるあたりの高度順化過程に 1 つの壁が存在するようである。今回、このような中山トレッキングについての 2 つの研究を合わせて発表した。1 つは世界第 2 峰「K2」を望むバルトロ氷河トレッキングでの調査であり、コース中で測定した SpO₂（動脈血酸素飽和度）値と健康調査の結果を分析した報告である（初出 大谷大学研究年報 66 2014）。2 つめは登山熟練者の呼吸方法に関する実験での低酸素環境における登坂歩行時の呼吸リズムと歩行リズムの測定結果の考察である（初出 日本体育学会 64 回大会 2013 星野聡子（奈良女子大学）・小森康加（大阪国際大学）との共同研究）。

1. バルトロ氷河トレッキングでの調査

これまであまり為されていなかったバルトロ氷河トレッキングルートで SpO₂ 値の変化と健康調査の記録を行った。そして、中高年者の高度順化について、SpO₂ の値と健康調査を照らし合わせ、SpO₂ に基づいた群毎の健康状況を分析、それぞれの群における高度順化の様相を明らかにした。その方法は、以下の通りである。標高 3000 m から 4650 m を往復するルー

トで、既に海外トレッキングの経験がある計8名(平均年齢57.9歳 男性61~72歳5名・女性41~47歳3名)を対象に行った。記録期間は2012年7月31日から8月15日の16日間(行程は8月1日~8月15日の15日間 記録期間には出発前日の夜を加える)である。調査項目はSpO₂と健康記録である。

SpO₂の測定の結果、平均値の変化は標高3500mまでは、日中の標高移動のため夜に低下しても翌朝には上昇するというノコギリ刃型の変化をした。以降、標高4050mにかけては一晩過ごしてもSpO₂は上昇せず、低下する一方であった。ここまでは90%台の値であった。さらに、標高4650mの目的地到着までは、再び夜低下し朝上昇するというノコギリ刃型変化を取りながら、88.0%から目的地到着の夜の81.57%まで段階的に低下していった。SpO₂の平均値で分けた3群間のSpO₂の変化は、高群では高い値でかつ少ない変動のノコギリ刃型で推移し、目的地での低下の度合いが少なかった。中群では安定的に高い値でノコギリ刃型の変化をしたが、標高の高い目的地近辺(4380m以上)では低下が大きかった。低群ではスタートの朝に大きく低下し低値のままノコギリ刃型に推移し、3940m地点で大きく低下し、目的地でもさらに大きく低下した。健康調査の結果は、SpO₂値が低いほど不調が多く、かつ長期に現れた。SpO₂低群では、登山開始から下山時に渡り、多くの項目で不調を訴えた。不調のピークは3300mから3940mであった。中群では、初期に食欲不振、倦怠感などを訴えたが、2日ほどで解消した。

結果を考察すると、まず、SpO₂は高度順化を客観的に知ることが出来る生理指標となることが確認された。高度順化のプロセスには、日中に標高上昇のためSpO₂は低下するが同じ標高に一晩滞在することで回復するというノコギリ刃型のパターンがあると推測できた。標高3500mまでは、標高を上げる前に近い水準まで回復、4000m以上では回復度合いが減少し、標高を上げるにつれてSpO₂は低下していった。3500mから4000mの間ではこのパターンは出現せず、不調もこの標高帯がピークであった。この標高帯では順化に困難があると推測できた。

結果を考察する中で、 SpO_2 値中群は、初期に健康の不調を訴えたが、以降、回復し、 SpO_2 は高群に比べて常に低値ながらも、順調に登山を行っていた。この結果から、「登山熟練者の中には、安静時には低い SpO_2 値ながら、登山中に体内の低酸素状態を改善するような効率のよい呼吸運動および歩行運動をおこなっているのではないか」という仮説が得られた。そこで、本発表の2つめとなる実験を実施した。

2. 登山熟練者の呼吸方法についての実験

登山熟練者は、長時間歩行を行うための熟達した体の処し方を行っており、特に、低酸素環境での効率の良い歩行と呼吸の方法を経験から身につけているのではないかと仮定した。そこで、標高 3000 m 級の高地登山を想定した低酸素環境での歩行運動時における呼吸リズムと歩行リズムの関連性に着目して登山熟練者の特徴を明らかにした。被験者は、登山熟練者 1 名 (72 歳男性 経験 50 年以上 60 歳でエベレスト、70 歳でキリマンジャロ、その他多数の登山経験あり) である。課題は、0 度・5 度・15 度の傾斜をつけたトレッドミル上での歩行運動であり、条件は①平地条件：通常酸素環境 ②低酸素条件：低酸素環境 (O_2 濃度 15% 約 30 分間低酸素環境暴露後、歩行運動) の 2 つとした。測定項目は、胸部と腹部にセンサを装着し、容量変化を記録し呼吸リズムを測定、左右足底踵に装着した感圧センサで歩行リズムを測定した。結果は各条件・傾斜毎に呼吸運動が安定した 1 分間を抽出した。

結果と考察は、呼吸運動では、平地条件では、胸部・腹部とも呼気時間が長く、ゆっくりと吐く呼吸が特徴であった。被験者は、「ゆっくりとしっかりと腹部を使って吐く」といういわゆる「腹式呼吸」を行っていた。細かくデータをみると、腹部が 2 段階で動いており、腹部を使いしっかりと吐く方法を身につけていることが見て取れた。低酸素条件では、傾斜 15 度で腹部の運動は短時間で吸ってゆっくり吐くという特徴がみられた。腹部吸気のピークが先行し、やや遅れて胸部吸気のピークが生じている。か

つ、胸部吸気最高値は2段階であった。このことから、熟練者は低酸素環境では腹部でゆっくりしっかりと吐き、胸部を2段階で広げて、しっかりと吸う呼吸方法を行っていることが明らかとなった。

呼吸運動と歩行リズムの関連性では、呼吸運動パターンと歩行リズムが顕著な関連性が認められたのは、低酸素条件傾斜15度のみであった。高地での活動経験が豊富な被験者にとって、パターン・リズムを整える必要性がその他の条件ではなかったと推測する。低酸素条件傾斜15度では1呼吸で4歩というリズムが安定的に持続されていた。胸部呼吸と腹部呼吸を分けて、歩行リズムとの関連を見ると、胸部では「2歩間で吐き、2歩間で吸う」、腹部では「3歩間で吐き、1歩間で吸う」という複雑な呼吸運動パターンを保っていることが明らかとなった。

このように、登山熟練者は低酸素で運動負荷が大きい登坂時に有効な呼吸運動と歩行運動が関連したパターンを身につけており、それ故、実際の高地トレッキング時に低酸素環境下で SpO_2 値が低下しても大きな健康不調を生じないでいると考えられる。

(大谷大学准教授 体育学 (体育心理・身体表現))

〈キーワード〉 高度順化、中高年者、胸部呼吸と腹部呼吸